

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-093653

(43)Date of publication of application : 26.03.1992

(51)Int.Cl.

G01N 29/14

G01N 29/24

(21)Application number : 02-207391

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE &
TECHNOL

(22)Date of filing : 03.08.1990

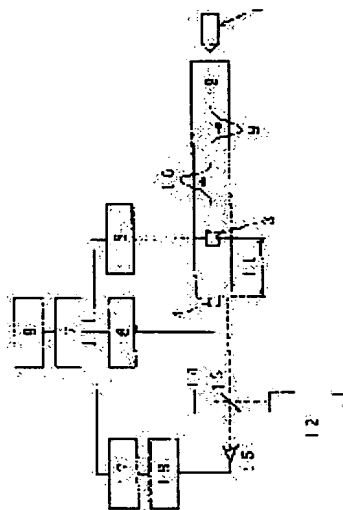
(72)Inventor : UMEDA AKIRA

(54) DYNAMIC RESPONSE CHARACTERISTIC MEASURING METHOD FOR AE SENSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To find a characteristic over a wide frequency range including low frequency in a short time by giving those of displacement, velocity and acceleration to an air engine sensor with a pulse-form elastic wave going generated in the inner part of a round bar by means of a collision or the like of flying object, and performing an arithmetic process along with an output signal, thereby finding a response characteristic of the AE sensor.

CONSTITUTION: Displacement, velocity and acceleration in a vertical direction to an end face being produced in a process that an elastic wave generated by adding an impact to the end face of a round bar 2 is propagated in the inner part, reaching one more end face and reflected. are set down to an input into an AE sensor 4 attached to the end face, while those of displacement, velocity and acceleration being inputted are measured by a strain gauge 3 attaced to a side face of the round bar 2, and error compensation or the like on the basis of signal processing operation such as Fourier transform, Laplace transform, filter operation or the like and an elatic wave theory is performed for both outputs of the Ae sensor 4 and the strain gauge 3, through which such means as measuring gain-frequency characteristic, and phase-frequency charactaersitic in an acceleration detecting function of the AE sensor 4, gain-frequency characteristic, and phase-frequency charactaersitic in a speed detecting function, and gain-frequency charactaersitic and phase-frequency characteristic in a displacment detecting function are all used.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-93653

⑮ Int. Cl.⁵
G 01 N 29/14
29/24

識別記号 庁内整理番号
6928-2 J
6928-2 J

⑭ 公開 平成4年(1992)3月26日

審査請求 有 請求項の数 3 (全7頁)

⑬ 発明の名称 A E センサの動的応答特性測定法

⑰ 特 願 平2-207391

⑱ 出 願 平2(1990)8月3日

⑲ 発 明 者 梅 田 章 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院計量研究所
内

⑳ 出 願 人 工 業 技 術 院 長 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

㉑ 指定代理人 工業技術院計量研究所長

明 証 書

1. 発明の名称

A E センサの動的応答特性測定法

2. 特許請求の範囲

(1) 丸棒の端面に衝撃を加えることによって発生した弾性波が、内部を伝播してもう一方の端面に到達し反射する過程で発生する端面に垂直な方向の変位、速度または加速度をその端面に取り付けた A E センサへの入力とし、A E センサの出力と変位、速度または加速度を推定するために必要になるひずみゲージの出力に対してフーリエ変換、ラプラス変換、フィルタ演算などの信号処理演算および弾性波理論にもとづく誤差補正等を行うことによって、変位検出機能、速度検出機能、加速度検出機能など各機能における A E センサのゲイン—周波数特性、位相—周波数特性を測定することを特徴とする A E センサの動的応答特性測定法。

(2) 丸棒の端面に衝撃を加えることによって発生した弾性波が、内部を伝播してもう一方の端面に到達し反射する過程で発生する端面に垂直な方向の変位、速度、または加速度をその端面に取り付けた A E センサへの入力とし、さらに丸棒の端面に垂直な方向の変位、速度、加速度を直接レーザ干渉計で計測して変位検出機能、速度検出機能、加速度検出機能など各機能における A E センサのゲイン—周波数特性、位相—周波数特性を測定することを特徴とする A E センサの動的応答特性測定法。

(3) 丸棒の端面に衝撃を加えることによって発生した弾性波が、内部を伝播してもう一方の端面に到達し反射する過程で発生する端面に垂直な方向の変位、速度、または加速度をその端面に取り付けた A E センサへの入力とし、それらを丸棒の側面に貼りつけたひずみゲージ出力をもとに推定するのであるが、ひずみゲージの動的な特性が不明確なままであると誤差要因になるので、ひずみゲージの動的な特性をレーザ干渉計で計測し、補正関数としてもとめておいてから、A E センサの

生した弾性波が、内部を伝播してもう一方の端面に到達し反射する過程で発生する端面に垂直な方向の変位、速度、または加速度をその端面に取り付けた A E センサへの入力とし、さらに丸棒の端面に垂直な方向の変位、速度、加速度を直接レーザ干渉計で計測して変位検出機能、速度検出機能、加速度検出機能など各機能における A E センサのゲイン—周波数特性、位相—周波数特性を測定することを特徴とする A E センサの動的応答特性測定法。

(3) 丸棒の端面に衝撃を加えることによって発生した弾性波が、内部を伝播してもう一方の端面に到達し反射する過程で発生する端面に垂直な方向の変位、速度、または加速度をその端面に取り付けた A E センサへの入力とし、それらを丸棒の側面に貼りつけたひずみゲージ出力をもとに推定するのであるが、ひずみゲージの動的な特性が不明確なままであると誤差要因になるので、ひずみゲージの動的な特性をレーザ干渉計で計測し、補正関数としてもとめておいてから、A E センサの

特開平4-93653 (2)

出力とひずみゲージの出力に対してフーリエ変換、ラプラス変換、フィルタ演算などの信号処理演算および弾性波理論にもとづく誤差補正等を行うことによって、変位検出機能、速度検出機能、加速度検出機能など各機能におけるA Eセンサのゲイン・周波数特性、位相・周波数特性を測定することとを特徴とするA Eセンサの動的応答特性測定法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、プラント類、圧力容器、地盤変動、建築構造物等のモニタリングを弾性波を検出して行うために用いるA Eセンサの周波数・ゲイン特性、周波数・位相特性の計測方法に関するものである。

〔従来の技術〕

A E法(Acoustic Emission)では、普通圧電素子によるA Eセンサを用いて、固体表面の機械的振動が電気的信号(A E信号)に変換されて検出

したがって、問題解決のためにはA Eセンサに対して精度および信頼性の高い定量的な特性評価法の開発が必要である。

〔発明が解決しようとする課題〕

本発明の技術的課題は、A Eセンサの取り付け面に垂直な方向に発生する加速度の検出機能、速度の検出機能、変位の検出機能における動的特性(ゲイン・周波数特性、周波数・位相特性)、即ち伝達関数を従来の方法では困難であった低周波数帯域も含めて極めて広い周波数帯域で測定する方法を提案し、A Eセンサを用いた非破壊計測技術の信頼性を向上させることにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記課題を解決するため、本発明においては、丸棒の端面に衝撃を加えることによって発生した弾性波が、内部を伝播してもう一方の端面に到達し反射する過程で発生する端面に垂直な方向の変位、速度、加速度をその端面に取り付けたA Eセ

ンサへ入力とし、また入力となる変位、速度または加速度を丸棒の側面に貼りつけたひずみゲージによって計測し、A Eセンサの出力とひずみゲージの出力に対してフーリエ変換、ラプラス変換、フィルタ演算などの信号処理演算および弾性波理論にもとづく誤差補正等を行うことによって、A Eセンサの加速度検出機能におけるゲイン・周波数特性、位相・周波数特性、速度検出機能におけるゲイン・周波数特性、位相・周波数特性、変位検出機能におけるゲイン・周波数特性、位相・周波数特性を測定するという手段を用いる。

しかしながら、稼働中の大型複雑形状の構造物において、き裂や損傷などの監視、寿命予測、保証試験時の微小破壊の検出、変動の推定などのより高度な要求を満たすために原波形解析技術を用しようとしても、A Eセンサの動的特性評価を定量的に行う技術が確立されていないことが、障害となっている。

近年では、建築構造物や地盤構造の内部変化に伴って発生する弾性波をA Eセンサで検出して、その変化を推定することが広く行われ始めた。この応用では、特に低周波数帯域でのA Eセンサの特性が十分に把握されていることが必要であるが、従来行われてきた技術では十分に対応できないことが指摘されている。

また、入力となる変位、速度または加速度の計測に丸棒の側面に貼りつけたひずみゲージを用いる代わりに、丸棒の端面の変位、速度を直接レーザ干渉計で計測し前記記載の手段を用いると、さらに精度の向上を図ることが可能になる。

〔作用〕

飛翔体の衝突などの方法によって丸棒内部に発生するパルス状の弾性波を用いて、変位、速度、

特開平4-93653 (3)

加速度をA/Eセンサに与え、出力信号とともに衝撃処理を施すことによって、当該A/Eセンサの応答特性を求めるので、低い周波数を含めた広い周波数帯域にわたる特性を短時間で求めることが可能となる。

〔実施例〕

特許請求範囲1の実施例

A/Eセンサの出力が表す物理量は周波数に依存すると考えられている。低い周波数領域ではA/Eセンサの出力は加速度に比例し、中程度の周波数帯域ではA/Eセンサの出力は速度に比例し、高い周波数帯域ではA/Eセンサの出力は変位に比例する。A/Eセンサの動的特性の評価においては、全周波数帯域にわたって、加速度検出機能におけるゲイン・周波数特性、位相・周波数特性、速度検出機能におけるゲイン・周波数特性、位相・周波数特性、変位検出機能におけるゲイン・周波数特性、位相・周波数特性を求める必要がある。

直径に比較して十分に長い丸棒の端面に飛球は

を衝突させる等の方法により衝撃を加えると丸棒の内部に弾性波が発生して伝播するが、他端に到達し反射する時点で、端面に弾性波の伝播速度（ c ）とひずみ速度（ $\dot{\epsilon}$ ）の積の2倍の加速度 $a(t)$ が発生する。

$$a(t) = 2 \cdot C \cdot \dot{\epsilon} \quad \dots\dots(1)$$

端面に発生する速度を $v(t)$ 、変位を $d(t)$ とすると、それぞれ(2)、(3)式が成立する。

$$v(t) = 2 \cdot C \cdot \epsilon \quad \dots\dots(2)$$

$$d(t) = 2 \cdot C \int \epsilon \cdot dt \quad \dots\dots(3)$$

実際にはひずみゲージを丸棒の端面に貼ることはできないので、変位はなれた位置にひずみゲージを貼ったとすると、(4)、(5)、(6)式が成立する。

$$a(t) = 2 \cdot C \cdot \dot{\epsilon} \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right) \quad \dots\dots(4)$$

$$v(t) = 2 \cdot C \cdot \epsilon \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right) \quad \dots\dots(5)$$

$$d(t) = 2 \cdot C \int \epsilon \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right) dt \quad \dots\dots(6)$$

(4)式から計算される $a(t)$ がA/Eセンサへの加速度入力となる。(5)式から計算される $v(t)$ がA/Eセンサへの取り付け面に垂直な方向の速度入力と

なる。(6)式から計算される $d(t)$ がA/Eセンサへの取り付け面に垂直な方向の変位入力となる。

ひずみゲージで観測される応力波形は第1図bに示すようになるが、時間区間 $t_1 \sim t_2$ の波形は端面での反射によって発生した引張応力波であって、衝撃が発生した端面の方向へ伝播するので、A/Eセンサへの入力となる加速度、速度、変位を発生することには寄与しない。(4)、(5)、(6)式によってA/Eセンサへの入力となる加速度、速度、変位を発生させるひずみは、圧縮応力波である第1図bの時間区間 $t_1 \sim t_2$ に現れるひずみの信号 $\epsilon(t)$ である。(第1図c)そこで、A/Eセンサの出力として現れたA/E信号を $a_e(t)$ （第1図d）、A/Eセンサの加速度に対する伝達関数を $G_a(s)$ とすると(7)式が、A/Eセンサの速度に対する伝達関数を $G_v(s)$ とすると(8)式が、A/Eセンサの変位に対する伝達関数を $G_d(s)$ とすると(9)式が成立する。ただし s は $j\omega$ で、 j は虚数単位、 ω は角周波数である。

$$L[a_e(t)] = G_a(s) \cdot L\left[2 \cdot C \cdot \dot{\epsilon} \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right)\right] \quad \dots\dots(7)$$

$$L[v_e(t)] = G_v(s) \cdot L\left[2 \cdot C \cdot \epsilon \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right)\right] \quad \dots\dots(8)$$

$$L[d_e(t)] = G_d(s) \cdot L\left[2 \cdot C \int \epsilon \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right) dt\right] \quad \dots\dots(9)$$

ただし、 $L[\]$ はラプラス変換算子である。実際に測定される物理量はひずみであってひずみ速度ではないので、微分に関するラプラス変換の性質を用いて(7)式を書き換えると(10)式を得る。

$$G_a(s) = \frac{L[a_e(t)]}{2 \cdot j \omega \cdot C \cdot L\left[\epsilon \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right)\right]} \quad \dots\dots(10)$$

(10)式の絶対値と周波数の関係よりA/Eセンサの加速度検出機能におけるゲイン・周波数特性を、(10)式の偏角と周波数の関係より位相・周波数特性をもとめることができる。

(8)式を変形して(11)式がえられる。

$$G_v(s) = \frac{L[v_e(t)]}{2 \cdot C \cdot L\left[\epsilon \cdot \left(1 - \frac{L}{C} \cdot \frac{d}{dt}\right)\right]} \quad \dots\dots(11)$$

同様に、(11)式の絶対値と周波数の関係からA

特開平4-93653 (4)

Eセンサの速度検出機能における、ゲイン-周波数特性、同じく(11)式の偏角と周波数の関係から位相-周波数特性が求められる。

積分に関するラプラス変換の性質を用いると、(12)式を導くことが出来る。

$$G_v(s) = \frac{j\omega L[a_v(t)]}{2CL[1 - \frac{D}{C}]} \quad \dots(12)$$

(12)式の絶対値と周波数の関係より、AEセンサの変位検出機能におけるゲイン-周波数特性が、同じく(12)式の偏角と周波数の関係から位相-周波数特性を求めることが可能になる。

なおひずみゲージは端面より距離 L だけ離れた位置に貼り付けられているので、伝播による波頭の変形すなわち分散性を考慮して補正すると、さらに精度が向上すると考えられる。端面におけるひずみを $\epsilon_v(t)$ とし、ひずみゲージによる実測波形を $\epsilon_s(t)$ とすると、各物理量の検出機能におけるゲインの補正関数 $K_v(\omega)$ は(13)で与えられる。

$$K_v(j\omega) = \frac{L[\epsilon_v(t - L/C)]}{L[\epsilon_s(t)]} \quad \dots(13)$$

$\epsilon_v(t)$ はステップ状の応力波が端面に与えられて内部を伝播して、他端面に入射するひずみであり、丸棒を軸対称2次元の波動伝播媒質と考える理論解析により求められる。 $\epsilon_s(t)$ は、ステップ状の応力波を実験的に端面に与えてひずみゲージで計測されるひずみである。(13)式の右辺絶対値の中の関数を、 $K_v(j\omega)$ とおくことにする。

また偏角の補正関数 $K_p(j\omega)$ は、(14)式で与えられる。

$$K_p(j\omega) = \arg(K_v(j\omega)) \\ = \arg \frac{L[\epsilon_v(t - L/C)]}{L[\epsilon_s(t)]} \quad \dots(14)$$

特許請求範囲2の実施例

特性評価の対象となるAEセンサの周波数帯域が高い場合には、丸棒端面もしくはAEセンサの変位、速度、加速度等の時間的変化を直接レーザ干渉計で計測する方法も考えられる。

レーザ干渉計で直接AEセンサへの入力となる

変位の時間的変化 $d_v(t)$ を計測する場合、AEセンサの変位検出機能における応答特性は(21)式の伝達関数で、AEセンサの速度検出機能における応答特性は(22)式の伝達関数で、AEセンサの加速度検出機能における応答特性は(23)式の伝達関数でそれぞれ表される。

$$G_d(s) = \frac{L[a_v(t)]}{L[d_v(t)]} \quad \dots(21)$$

$$G_v(s) = \frac{L[a_v(t)]}{(j\omega)L[d_v(t)]} \quad \dots(22)$$

$$G_a(s) = \frac{L[a_v(t)]}{(j\omega)^2 L[d_v(t)]} \quad \dots(23)$$

レーザ干渉計で直接AEセンサへの入力となる速度の時間的変化 $V_v(t)$ を計測する場合、AEセンサの変位検出機能における応答特性は(24)式の伝達関数で、AEセンサの速度検出機能における応答特性は(25)式の伝達関数で、AEセンサの加速度検出機能における応答特性は(26)式の伝達関数でそれぞれ表される。

$$G_d(s) = \frac{(j\omega)L[a_v(t)]}{L[V_v(t)]} \quad \dots(24)$$

$$G_v(s) = \frac{L[a_v(t)]}{L[V_v(t)]} \quad \dots(25)$$

$$G_a(s) = \frac{L[a_v(t)]}{(j\omega)L[V_v(t)]} \quad \dots(26)$$

各伝達関数の絶対値および偏角と周波数の関係から、ゲイン-周波数特性、位相-周波数特性を求めることができる。

特許請求範囲3の実施例

レーザ干渉計で直接AEセンサへの入力となる取り付け面の変位の時間的変化 $d_v(t)$ を測定して、ひずみゲージの動的応答とひずみゲージを貼った位置から取り付け端面までの間での波動の分散性の補正関数をもとめるには、次のように考える。

レーザ干渉計によりAEセンサを取り付ける棒端面の運動を計測している状況でステップ状の衝撃を端面に与え、発生した応力波が内部を伝播して取り付け面に入射する時のひずみを $\epsilon_v(t)$ とすると次式が成立する。レーザ干渉計で端面の

特開平4-93653 (5)

変位 $d_{11}(t)$ を計測しているとする。

$$x_{11}(t) = \frac{1}{2C} d_{11}(t) \quad \dots\dots(27)$$

さらにその時にひずみゲージで観察されるひずみの信号を $x_{12}(t)$ とする。レーザ干渉計による測定結果から、ひずみゲージの応答性とひずみゲージを貼った位置から加速度計取り付け端面までの変位の分散の両方を補償する補正関数は、(13)式と同様に考えれば、(28)式として得られる。

$$K_{12}(j\omega) = \frac{L[x_{11}(1-\delta/C)]}{L[x_{12}(t)]} \quad \dots\dots(28)$$

したがって、レーザ干渉計による変位測定によって補正関数をもとめた場合に関しては、以下の6つの数式が得られる。まず、加速度検出機能におけるA/Eセンサのゲイン-周波数特性は(29)式で、位相-周波数特性は(30)式で与えられる。

$$|G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)| \quad \dots\dots(29)$$

$$\arg(G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)) \quad \dots\dots(30)$$

速度検出機能におけるA/Eセンサのゲイン-周波数特性は(31)式で、位相-周波数特性は(32)式で与えられる。

$$K_{12}(j\omega) = \frac{L[x_{11}(1-\delta/C)]}{L[x_{12}(t)]} \quad \dots\dots(35)$$

したがって、レーザ干渉計による速度測定によって補正関数をもとめた場合に関しては、以下の5つの数式が得られる。まず、加速度検出機能におけるA/Eセンサのゲイン-周波数特性は(37)式で、位相-周波数特性は(38)式で与えられる。

$$|G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)| \quad \dots\dots(37)$$

$$\arg(G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)) \quad \dots\dots(38)$$

速度検出機能におけるA/Eセンサのゲイン-周波数特性は(39)式で、位相-周波数特性は(40)式で与えられる。

$$|G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)| \quad \dots\dots(39)$$

$$\arg(G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)) \quad \dots\dots(40)$$

変位検出機能におけるA/Eセンサのゲイン-周波数特性は(41)式で、位相-周波数特性は(42)式で与えられる。

$$|G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)| \quad \dots\dots(41)$$

$$\arg(G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)) \quad \dots\dots(42)$$

$$|G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)| \quad \dots\dots(31)$$

$$\arg(G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)) \quad \dots\dots(32)$$

変位検出機能におけるA/Eセンサのゲイン-周波数特性は(33)式で、位相-周波数特性は(34)式で与えられる。

$$|G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)| \quad \dots\dots(33)$$

$$\arg(G_{11}(j\omega) \cdot K_{11}(j\omega)) \quad \dots\dots(34)$$

レーザ干渉計によりA/Eセンサを取り付ける端面の運動を計測している状態でステップ状の衝撃を端面に与え、発生した応力波が内部を伝播して取り付け面に入射する時のひずみを $x_{11}(t)$ とする。レーザ干渉計で端面の変位 $v_{11}(t)$ を計測しているとする、(35)式が成立する。

$$x_{11}(t) = \frac{1}{2C} v_{11}(t) \quad \dots\dots(35)$$

さらにその時にひずみゲージで観察されるひずみの信号を $x_{12}(t)$ とする。レーザ干渉計による測定結果から、ひずみゲージの応答性とひずみゲージを貼った位置から加速度計取り付け端面までの変位の分散の両方を補償する補正関数は、(13)式と同様に考えれば、(36)式として得られる。

〔発明の効果〕

以上に説明した本発明のA/Eセンサの動的応答特性測定法を用いると、A/Eセンサの特性評価方法が確立されていない現状において、A/Eセンサの動的応答特性を、高い信頼性でかつ簡単に測定することが可能となる。

4. 図面の簡単な説明

第1図aは、本発明に係るA/Eセンサの動的応答特性測定法にもとづく測定法の概念図である。第1図bはひずみゲージで計測された丸棒内部を伝播する弾性波を表す図、第1図cはA/Eセンサの入力信号となる変位、速度、加速度に関連するひずみを表す図、第1図dはA/Eセンサの出力を表す図である。

図2は、本発明の実施例を実際に行うための実験装置のブロック図である。

1……衝撃発生用の飛球体

2……丸棒

特開平4-93653(7)

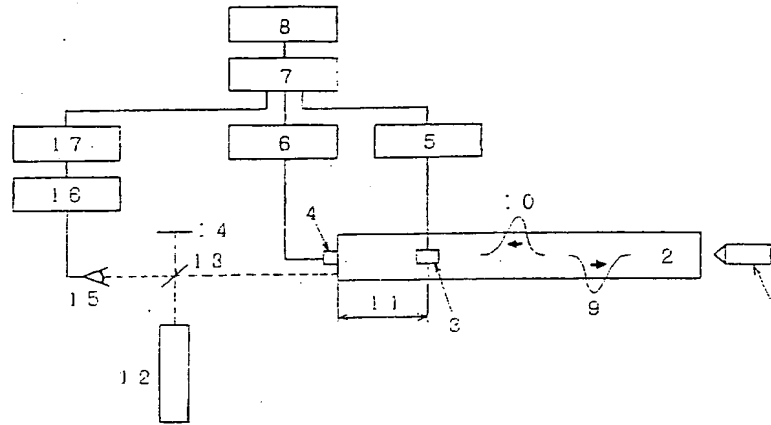


図2B

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.